

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของจ่ายไฟ เอ้าต์พุต ค่าที่ 100 V และทำการเปรียบเทียบระหว่างดันแรงดันและกระแสจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปกับวงจรใช้งานจริง โดยผู้วิจัยได้ใช้ตัวหนี่ยวนำขดลวดเดียวจากวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ชัพพลายในเครื่องรับโทรศัพท์มือถือ Philips หน้าจอ 14 นิ้ว แทนเครื่อง S14 และตัวหนี่ยวนำแบบ 2 ขดลวด จากวงจรสวิตซ์เพาเวอร์ชัพพลายในเครื่องรับโทรศัพท์มือถือ National หน้าจอขนาด 14 นิ้ว แทนเครื่อง T1 มาใช้เป็นกรณีศึกษา นอกจากนี้ผู้วิจัย ได้นำวงจรเออเรอร์ แอมป์มาใช้เพื่อควบคุมแรงดันไฟทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ และมีวงจรป้องกันแรงดันไฟเออต์พุตสูงเกิน (Over Voltage Protection) เพื่อป้องกันความเสียหายให้กับวงจรทางด้านเอาต์พุตด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope) ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS204B แบบ 4 Channel จำนวน 1 เครื่อง
2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) ยี่ห้อ Sanwa รุ่น RD701 จำนวน 1 เครื่อง
3. มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) ยี่ห้อ Volt Craft รุ่น EM3000 จำนวน 1 เครื่อง
4. โอลด์ความต้านทาน ปรับค่าได้ 0-120 Ω ขนาดกำลัง 60 วัตต์ จำนวน 2 ตัว
5. โปรแกรมสำเร็จรูปจำลองการทำงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้จำลองการทำงานของวงจร
3. ออกแบบสร้างวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบ และวงจรควบคุมแรงดันไฟคงที่ และวงจรป้องกันแรงดันเกินทางด้านเอาต์พุต
4. ทดสอบการทำงานของวงจรเบื้องต้น และปรับปรุงแก้ไข
5. สร้างวงจรชุดทดลองที่สมบูรณ์อย่างละ 5 ชุด รวมทั้งสิ้น 10 ชุด
6. สุ่มตัวอย่างเลือกชุดทดลองอย่างละ 1 ชุด เพื่อใช้ทดสอบในการวิจัยในครั้งนี้โดยการเปรียบเทียบผลกราฟรูปคลื่นที่ได้จากการ Simulate Software
7. บันทึกผลการวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

8. วิเคราะห์ข้อมูล
9. สรุปผลและเขียนรายงานการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จาก การทดลองจากการจะรับค คอนเวอร์เตอร์แบบตัวเหนี่ยวนำขดลวดเดียวและแบบ 2 ขดลวด ขนาดกำลัง 50 วัตต์ โดยการใช้เครื่องมือวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ กำลังวัตต์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ และบันทึกข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นทางไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม สำเร็จรูปเฉพาะทาง เพื่อนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้มามาวิเคราะห์ผลต่อไป

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตัวยการหาค่าเฉลี่ย (Mean: \bar{X}) และสรุปอภิมา เป็นค่าร้อยละ (Percentage)

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\text{ร้อยละ (\%)} = \frac{x}{N} \times 100$$

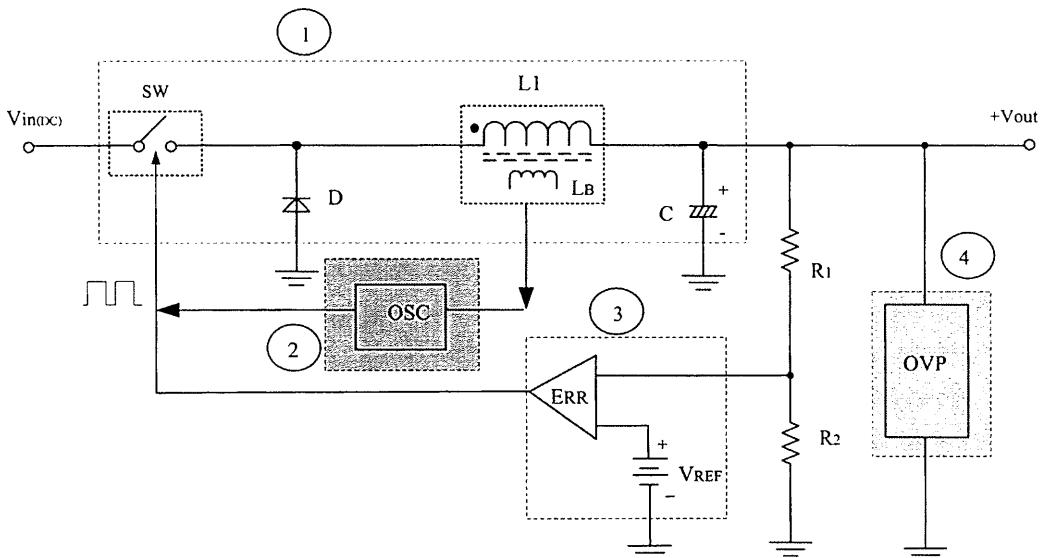
x คือ จำนวนข้อมูลที่รวมมาได้

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การออกแบบสร้างวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์

ผู้วิจัยได้แบ่งการทำงานของวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ ทั้งแบบตัวเหนี่ยวนำขดลวดเดียวและแบบ 2 ขดลวด ออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์กำลัง
2. วงจรกำเนิดความถี่อิสระด้วยตัวเอง
3. วงจรเรอර์เร่อร์แอมป์
4. วงจربังกันทางด้านเอาต์พุต

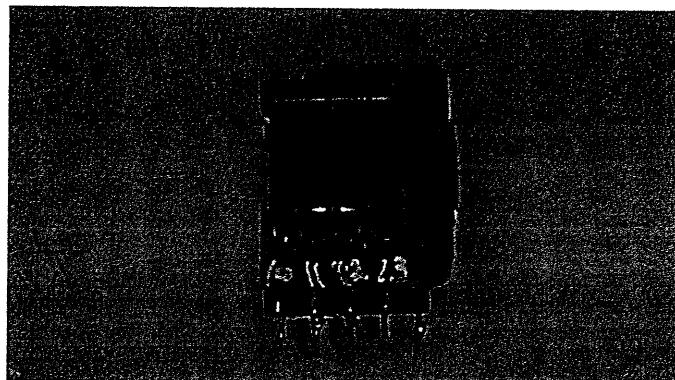


ภาพที่ 3.1 บล็อกໄດ້ອະແກມຂອງวงຈรบັດ ຄອນເວອຣ໌ເຕອຣ໌

1. วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์กำลัง

1.1 การออกแบบค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

สำหรับวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว ผู้วิจัยได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำ L จากวงจรในเครื่องรับโทรศัพท์ศูนย์สัญญาณ Philips หน้าจอ 14 นิ้ว แทนเครื่อง S14 ขนาดกำลัง 50 วัตต์ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟตมาเป็นสวิตซ์ตัดต่อแรงดันไฟตรงดีซี เมื่อมาทำการทดสอบวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L ได้เท่ากับ 1.02 mH เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำขดลวดมีค่าไม่สูงมากนัก การออกแบบวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ขดลวดเดียวจึงกำหนดความถี่ในการสวิตซ์ เท่ากับ 10 kHz เวลาในหนึ่งคลาสสิกจะมีค่าเท่ากับ $100 \mu\text{s}$ และด้วยคุณลักษณะของวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นสวิตซ์ซึ่งนำกระแสได้ด้วยการให้ใบอัลตร้าฟลังก์ก์เกต (Gate) โดยกำหนดแรงดันไฟดีซีทางเอาต์พุต เท่ากับ 100 V และแรงดันไฟทางด้านอินพุตจะต้องสูงกว่าทางด้านเอาต์พุตเสมอ ในที่นี้กำหนดให้ เท่ากับ 120 V



ภาพที่ 3.2 ตัวขดลวดเหนี่ยวนำ ในเครื่องรับโทรทัศน์สียี่ห้อ Philips แท่นเครื่อง S14
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

ตั้งนั้น ค่า Duty Cycle หาได้จากสมการที่ (3)

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} ; T_s \text{ คือ คาบเวลาในการสวิตช์ (kHz)}$$

$$V_o = \frac{V_s \times t_{on}}{T_s}$$

$$100V = \frac{120V \times t_{on}}{100 \mu s}$$

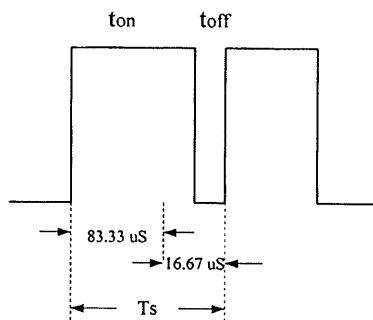
$$t_{on} = \frac{100V \times 100 \mu s}{120V}$$

$$\therefore t_{on} = 83.33 \mu s$$

แทนค่า t_{on} ลงในสมการ จะได้

$$D = \frac{83.33 \mu s}{100 \mu s}$$

$$\therefore D = 0.83$$



ภาพที่ 3.3 ค่า Duty Cycle (D) เท่ากับ 0.83 ที่ความถี่ในการสวิตช์ 10 kHz

เมื่อต้องการแรงดันที่เอาต์พุต V_o เท่ากับ 100 V กำหนดค่า Duty Cycle (D) เท่ากับ 0.83 สามารถหาค่าแรงดัน V_s ได้จากสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} V_o &= V_s \times D \\ V_s &= \frac{V_o}{D} \\ &= \frac{100 \text{ V}}{0.83} \\ \therefore V_s &= 120.48 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงกำหนดให้ $V_s = V_{in(DC)} \cong 125 \text{ V}$

และเมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC สามารถหา $V_{in(rms)}$ ได้จากสมการ (โดยไม่คำดิค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้น)

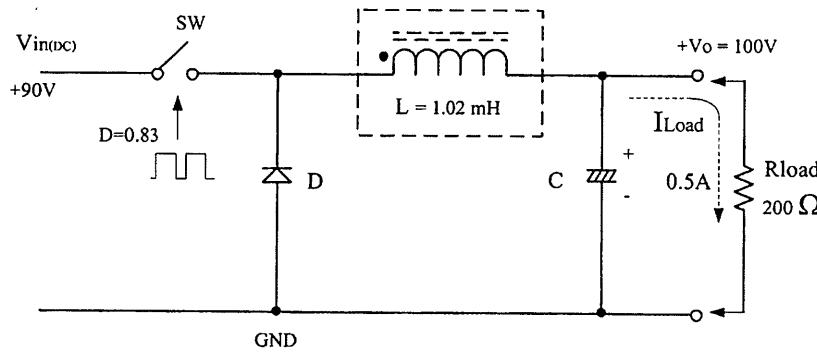
$$\begin{aligned} V_{AC(rms)} &= \frac{V_{in(DC)}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{125 \text{ V}}{\sqrt{2}} \\ &= 88.38 \text{ V} \\ \therefore V_{in(rms)} &\cong 90 \text{ V} \end{aligned}$$

การกำหนดให้วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ จ่ายกำลังได้เท่ากับ 50 W ที่แรงดันไฟ V_o เท่ากับ 100 V ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} I_{Load} &= \frac{P}{V_o} \\ &= \frac{50 \text{ W}}{100 \text{ V}} \\ &= 0.5 \text{ A} \end{aligned}$$

และหากค่าความต้านทานโหลด R_L จะได้

$$\begin{aligned} R_{Load} &= \frac{V_o}{I_L} \\ &= \frac{100 \text{ V}}{0.5 \text{ A}} \\ \therefore R_{Load} &= 200 \Omega \end{aligned}$$



ภาพที่ 3.4 วงจรเบื้องต้นของบัค คอนเวอร์เตอร์ขดลวดเดียว ที่ได้จากการคำนวณ

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L ต่ำสุด ที่ยังทำให้กระแส I_L แหลมอย่างต่อเนื่อง หาได้จากสมการที่ (18)

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R_{\text{Load}}}{2f_s}$$

เมื่อ f_s คือ ความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 10 kHz

$$= \frac{(1 - 0.83)200 \Omega}{2 \times 10 \text{ kHz}}$$

$$\therefore L_{\min} = 1.7 \text{ mH}$$

นั่นคือ ค่าความเหนี่ยวนำในขดลวด L นั้นจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.7 mH จึงจะทำให้ผลของกระแสที่แหลมผ่านขดลวด L หรือโหลดของวงจรเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

เมื่อนำตัวเหนี่ยวนำ L ในวงจรเครื่องรับโทรศัพท์หูฟัง Philips หน้าจอ 14 นิ้ว แท่นเครื่อง S14 ขนาดกำลัง 50 วัตต์ มาทำการทดสอบค่าความเหนี่ยวนำ L ได้เท่ากับ 1.02 mH ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ นั่นหมายความว่า กระแสที่แหลมผ่านขดลวด L หรือกระแสที่แหลมผ่านโหลดนั้นจะเป็นกระแสไม่ต่อเนื่อง

การหาค่ากระแสสูงสุด $I_{L(\max)}$ ที่แหลมผ่านขดลวด

กระแส $I_{L(\max)}$ สูงสุดหาได้จากสมการที่ (14)

$$I_{L(\max)} = V_o \left[\frac{1}{R_{\text{Load}}} + \frac{1+D}{2Lf_s} \right]$$

$$= 100 \text{ V} \left[\frac{1}{200 \Omega} + \frac{(1 - 0.83)}{2 \times 1.02 \text{ mH} \times 10 \text{ kHz}} \right]$$

$$\therefore I_{L(\max)} = 1.33 \text{ A}$$

การหาค่ากระแสต่ำสุด $I_{L(\min)}$ ที่แหลมผ่านขดลวด

กระแส $I_{L(\min)}$ ต่ำสุดหาได้จากสมการที่ (17)

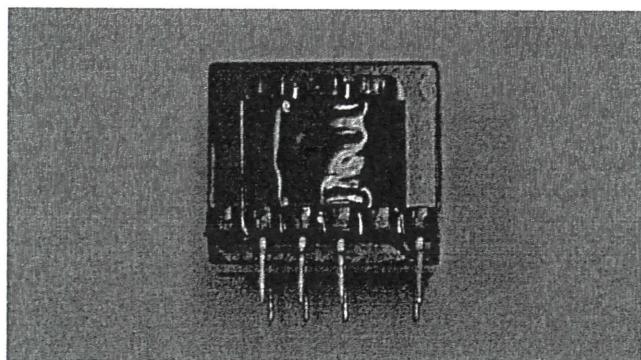
$$I_{L(\min)} = V_o \left[\frac{1}{R_{\text{Load}}} - \frac{1-D}{2Lf_s} \right]$$

$$= 100 \text{ V} \left[\frac{1}{200 \Omega} - \frac{(1 - 0.83)}{2 \times 1.02 \text{ mH} \times 10 \text{ kHz}} \right]$$

$$\therefore I_{L(\min)} = -0.33 \text{ A}$$

เครื่องหมายติดลบต่อกว่าศูนย์ แสดงให้เห็นว่า กระแสไฟล์ผ่านขดลวด I_L หรือไฟล์ผ่านโหลด R_{Load} เป็นกระแสไม่ต่อเนื่องกันเอง

สำหรับวงจรบีค ค่อนเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด ผู้วิจัยได้ใช้เหนี่ยวตัวนำ L จากวงจรในเครื่องรับโทรศัพท์ห้อง National หน้าจอ 14 นิ้ว แทนเครื่อง T10 ขนาดกำลัง 50 วัตต์ ซึ่งได้ใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์ในการตัดต่อแรงดันไฟดิจิที ด้วยการให้ไปอัสกระแสงทางขาเบส (B) เมื่อทำการทดสอบวัดค่าความหนี่วนนำ L ได้เท่ากับ 9.17 mH ซึ่งสูงกว่าตัวเหนี่ยวตัวนำแบบขดลวดเดียว ดังนั้นจึงกำหนดความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 5 kHz เวลาในหนึ่งคาบสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 200 μs และด้วยคุณลักษณะของวงจรบีค ค่อนเวอร์เตอร์ เมื่อกำหนดแรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 100 V แรงดันไฟทางด้านอินพุตจะต้องสูงกว่าทางด้านเอาต์พุตเสมอ ในที่นี้กำหนดให้ 200 V



ภาพที่ 3.5 ตัวขดลวดเหนี่ยวตัวนำ ในเครื่องรับโทรศัพท์ห้อง National แทนเครื่อง T10
ที่มา : ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย

ดังนั้นค่า Duty Cycle หาได้จากสมการที่ (3)

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} ; T_s \text{ คือ คาบเวลาในการสวิตช์ (kHz)}$$

$$V_o = \frac{V_s \times t_{on}}{T_s}$$

$$100 \text{ V} = \frac{200 \text{ V} \times t_{on}}{200 \mu\text{s}}$$

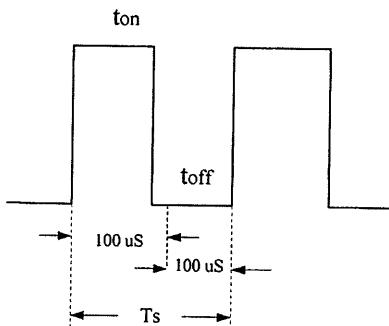
$$t_{on} = \frac{100 \text{ V} \times 200 \mu\text{s}}{200 \text{ V}}$$

$$\therefore t_{on} = 100 \mu\text{s}$$

แทนค่า t_{on} ลงในสมการ จะได้

$$D = \frac{100 \mu s}{200 \mu s}$$

$$\therefore D = 0.5$$



ภาพที่ 3.6 ค่า Duty Cycle (D) เท่ากับ 0.5 ที่ความถี่ในการสวิตช์ 5 kHz

เมื่อต้องการแรงดันที่เอาต์พุต V_o เท่ากับ 100 V และกำหนดค่า Duty Cycle (D) เท่ากับ 0.5 สามารถหาค่าแรงดัน V_s ได้จากสมการ

$$V_o = V_s \times D$$

$$V_s = \frac{V_o}{D}$$

$$= \frac{100 V}{0.5}$$

$$\therefore V_s = 200 V$$

$$\text{เมื่อ } V_s = V_{in(DC)} \cong 200 V$$

กรณีใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC สามารถหาแรงดัน $V_{in(rms)}$ ได้จากสมการ (โดยไม่คำนวณกำลังศูนย์เสียงต่างๆ)

$$V_{AC} = \frac{V_{in(DC)}}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{200 V}{\sqrt{2}}$$

$$= 141.42 V$$

$$\therefore V_{in(rms)} \cong 145 V$$

การกำหนดให้วงจรบค คอนเวอร์เตอร์ จ่ายกำลังได้เท่ากับ 50 W ที่แรงดันเอาต์พุต V_o เท่ากับ 100 V ดังนั้น กระแสที่โหลดผ่านโหลดจะเท่ากับ

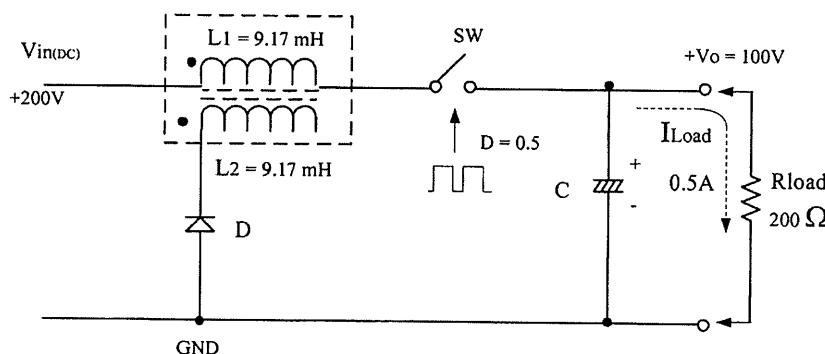
$$I_{Load} = \frac{P}{V_o}$$

$$= \frac{50 W}{100 V}$$

$$= 0.5 A$$

และเมื่อหาค่าความต้านทานโหลด R_{Load} จะได้

$$\begin{aligned} R_{\text{Load}} &= \frac{V_o}{I_L} \\ &= \frac{100 \text{ V}}{0.5 \text{ A}} \\ \therefore R_{\text{Load}} &= 200 \Omega \end{aligned}$$



ภาพที่ 3.7 วงจรเบื้องต้นของบักค์ คอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด ที่ได้จากการคำนวณ

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ L ต่ำสุด ที่ยังทำให้กระแส I_L ไหลอย่างต่อเนื่อง หาได้จากสมการที่ (18)

$$\begin{aligned} L_{\min} &= \frac{(1-D)R_{\text{Load}}}{2f_s} ; \text{ เมื่อ } f_s \text{ คือความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ } 5 \text{ kHz} \\ &= \frac{(1 - 0.5)200 \Omega}{2 \times 5 \text{ kHz}} \\ \therefore L_{\min} &= 10 \text{ mH} \end{aligned}$$

นั่นคือ ค่าความเหนี่ยวนำในขดลวด L นั้นจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 mH จึงจะทำให้ผลของกระแสที่ไหลผ่านขดลวด L หรือโหลดของวงจรเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

เมื่อวัดค่าความเหนี่ยวนำ L ในวงจรเครื่องรับโทรศัพท์ห้อ National ได้เท่ากับ 9.17 mH ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ นั่นหมายความว่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวด L หรือกระแสที่ไหลผ่านโหลดนั้นจะเป็นกระแสไม่ต่อเนื่อง

การหาค่ากระแสสูงสุด $I_{L(\max)}$ ที่ไหลผ่านขดลวด

กระแส $I_{L(\max)}$ สูงสุดหาได้จากสมการที่ (14)

$$\begin{aligned} I_{L(\max)} &= V_o \left[\frac{1}{R_{\text{Load}}} + \frac{(1-D)}{2Lf_s} \right] \\ &= 100 \text{ V} \left[\frac{1}{200 \Omega} + \frac{(1 - 0.5)}{2 \times 9.17 \text{ mH} \times 5 \text{ kHz}} \right] \end{aligned}$$

$$\therefore I_{L(\max)} = 1.19 \text{ A}$$

การหาค่ากระแสต่ำสุด $I_{L(\min)}$ ที่แหล่งผ่านชด漉วด

กระแส $I_{L(\min)}$ ต่ำสุดหาได้จากที่ (17)

$$\begin{aligned} I_{L(\min)} &= V_o \left[\frac{1}{R_{Load}} - \frac{(1-D)}{2Lf_2} \right] \\ &= 100 \text{ V} \left[\frac{1}{200 \Omega} - \frac{(1-0.5)}{2 \times 9.17 \text{ mH} \times 5 \text{ kHz}} \right] \\ \therefore I_{L(\min)} &= -0.19 \text{ A} \end{aligned}$$

เครื่องหมายติดลบต่ำกว่าศูนย์ แสดงให้เห็นว่า กระแสแหล่งผ่านชด漉วด I_L หรือแหล่งผ่านโหลด R_{Load} เป็นกระแสไม่ต่อเนื่องนั้นเอง

1.2 การออกแบบค่าปารามิเตอร์ C_o ทางเอาต์พุต

การออกแบบหาค่าความจุของค่าปารามิเตอร์ C_o ในวงจรบัก คอนเวอร์เตอร์ชด漉วดเดียว เพื่อกรองแรงดันไฟทางด้านเอาต์พุตให้มีค่า Ripple ที่ไม่มากนัก ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ดีจะส่งผลให้วงจรบัก คอนเวอร์เตอร์มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น โดยกำหนดให้ $\Delta V_o = 0.3 \text{ V}$ สามารถหาค่า C_o ได้จากสมการที่ (48)

$$\begin{aligned} C_o &= \frac{V_o(1-D)}{8f_s^2 L \Delta V_o} \\ &= \frac{100 \text{ V}(1-0.83)}{8 \times (10 \text{ kHz})^2 \times 1.02 \text{ mH} \times 0.3} \\ \therefore C_o &= 69.441 \mu\text{F} \end{aligned}$$

ดังนั้นควรเลือกใช้ค่าปารามิเตอร์ C_o ที่มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้ ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าปารามิเตอร์ C_o เท่ากับ $100 \mu\text{F}/400 \text{ V}$

สำหรับการออกแบบหาค่าความจุของค่าปารามิเตอร์ C_o ในวงจรบัก คอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ชด漉วดนั้น ขนาดค่าความจุของค่าปารามิเตอร์ C_o จะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่ในการสวิตช์ (f_s) และค่าความหนี่ยวน้ำ L เนื่องจากค่าความหนี่ยวน้ำของชด漉วดสำหรับวงจรบัก คอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ชด漉วด มีค่ามากถึง 9.17 mH จึงกำหนดให้ $\Delta V_o = 0.5 \text{ V}$ การหาค่าความจุของค่าปารามิเตอร์ C_o ทางด้านเอาต์พุต หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} C_o &= \frac{V_o(1-D)}{8f_s^2 L \Delta V_o} \\ &= \frac{100 \text{ V}(1-0.5)}{8 \times (25 \text{ kHz})^2 \times 9.17 \text{ mH} \times 0.5} \\ \therefore C_o &= 69.73 \mu\text{F} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าปารามิเตอร์ C_o เท่ากับ $100 \mu\text{F}/400 \text{ V}$

1.3 การออกแบบไดโอดเรกติไฟเออร์ความถี่สูง

การออกแบบแบบหาขนาดของไดโอดเรกติไฟเออร์ความถี่สูง หรือ ไดโอดสวิตซ์ที่เหมาะสมสำหรับวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์แบบชด漉ดเดียวและแบบ 2 ชด漉ดนั้น สามารถหาได้จากความต้มพันธ์ของค่า Duty Cycle และค่ากระแส $I_{L(max)}$ ที่แหล่งงานสูงสุดที่กำลัง 50 วัตต์ ซึ่งได้ค่ากระแสเท่ากับ 0.5 A ที่แรงดันเอาต์พุต 100 V

จากการออกแบบวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ชด漉ดเดียว ได้ค่ากระแส $I_{L(max)}$ เท่ากับ 1.33 A ค่ากระแสใช้งานสูงสุดของไดโอดได้จากสมการที่ (50)

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_{L(max)} \times \sqrt{\frac{1}{D}} \quad ; D = 0.83 \\ = 0.707 \times 1.33 A \times 1.09 \\ I_{rms} = 1.03 A$$

ส่วนการออกแบบวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ชด漉ด ได้ค่ากระแส $I_{L(max)}$ เท่ากับ 1.19 A ค่ากระแสใช้งานสูงสุดของไดโอด จะหาได้ดังนี้

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_{L(max)} \times \sqrt{\frac{1}{D}} \quad ; D = 0.5 \\ = 0.707 \times 1.19 A \times 1.41 \\ I_{rms} = 1.18 A$$

สำหรับผลจากการ Simulate ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ชด漉ดเดียวและแบบ 2 ชด漉ด ได้ค่ากระแสเฉลี่ย $I_{(avg)}$ ของไดโอด = 173.08 mA และ 247.59 mA ตามลำดับ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไดโอดความถี่สูง เบอร์ RU2 ในการเรียงกระแสสำหรับวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ชด漉ดเดียวและแบบ 2 ชด漉ด ซึ่งสามารถทนค่ากระแสเฉลี่ย $I_{(avg)}$ อย่างต่อเนื่องได้ 1 A และทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงย้อนกลับได้ 800 V

1.4 การออกแบบอุปกรณ์ในการสวิตช์

เพาเวอร์มอสเฟตที่ใช้เป็นอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์แบบตัวเหนี่ยวนำชด漉ดเดียวในเครื่องรับโทรศัพท์สี ยี่ห้อ Philips ขนาดกำลัง 50 วัตต์ ที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษานั้น เมื่อใช้กับแรงดันไฟ AC 220 V จะได้แรงดันไฟดีซีอินพุต $V_{in(DC)} \cong 310 V$ จากการคำนวณเมื่อทำการสวิตช์ที่ Duty Cycle = 0.83 จะต้องเลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตที่สามารถทนแรงดันไฟระหว่างขาเดرن-ชอร์ส ได้สูงสุดในขณะที่เข้าสู่สภาวะ Turn Off = 0.17 หรือที่ 17 % ของค่าแรงดันสูงสุด ซึ่งแรงดัน $V_{DS(min)}$ หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 V_{DS(\min)} &= \frac{V_{in(DC)}}{100} \times D\% \\
 &= \frac{310 \text{ V} \times 17}{100} \\
 \therefore V_{DS(\min)} &= 52.70 \text{ V}
 \end{aligned}$$

เมื่อคิดเพาเวอร์มอสเฟตเข้าสู่สภาวะ Turn Off = 25 % ค่าแรงดัน V_{DS} จะเท่ากับ 77.5 V และควรเพื่อไว้ 1.5 เท่า ดังนั้น แรงดัน V_{DS} ที่เพาเวอร์มอสเฟตจะต้องมากกว่า 116.25 V และท่านกระแสงได้ไม่น้อยกว่า 0.5 A

ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟต เบอร์ BUK444 ที่ทนแรงดันไฟ V_{DS} ได้ 200 V ที่กระแสง I_D เท่ากับ 5 A ขนาดกำลังไม่ต่ำกว่า 25 W มาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ให้กับวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว

สำหรับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวดในเครื่องรับ โทรทัศน์สี ยี่ห้อ National ขนาดกำลัง 50 วัตต์ ที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษานั้น เมื่อใช้กับแรงดันไฟ AC 220 V จะได้แรงดันไฟอินพุต $V_{in(DC)}$ \cong 310 V จากการคำนวณเมื่อทำการสวิตซ์ที่ Duty Cycle เท่ากับ 0.5 หรือ 50 % นั้น จะต้องเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่สามารถทนแรงดันไฟทางด้านคอลเลกเตอร์-อimitเตอร์ ได้สูงสุดในขณะที่เข้าสู่สภาวะ Turn Off ซึ่งแรงดัน $V_{CE(\min)}$ หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 V_{CE(\min)} &= \frac{V_{in(DC)}}{100} \times D\% \\
 &= \frac{310 \text{ V} \times 50}{100} \\
 \therefore V_{CE(\min)} &= 155 \text{ V}
 \end{aligned}$$

และควรเพื่อไว้ 1.5 เท่า ดังนั้น แรงดัน $V_{CE(\max)}$ ที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะต้องมากกว่า 232.5 V และท่านกระแสงได้ไม่น้อยกว่า 0.5 A

ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สวิตซ์เบอร์ 2SC5287 ที่ทนแรงดันไฟสูง V_{CE} ได้ถึง 550 V ที่กระแสง I_C เท่ากับ 5 A กำลังไม่ต่ำกว่า 80 W มาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ให้กับวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด

2. วงจรกำเนิดความถี่อิสระด้วยต้นเอง

การศึกษาในครั้งนี้จะใช้วงจรกำเนิดความถี่อิสระ (Self Oscillating) ด้วยการใช้ขดลวดเหนียวนำ L_B ป้อนกระแสกลับมายังวงจรสวิตซ์ โดยอาศัยการทำงานร่วมกับคากาชีเตอร์ (C) และตัวต้านทาน (R) จากการคำนวณความถี่ในการสวิตซ์ของวงจรบัค ค่อนเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว จะได้ความถี่ในการสวิตซ์ (f_S) เท่ากับ 10 kHz เมื่อคำนวณหาค่าเวลา (T) จะได้

$$T = \frac{1}{f_s}$$

$$= \frac{1}{10 \text{ kHz}} \\ \therefore T = 100 \mu\text{s}$$

และใน 1 คาบเวลา (T) การเก็บประจุและคายประจุของคาปัชิเตอร์ C จะใช้เวลาที่เท่ากัน เมื่อคาปัชิเตอร์ใช้เวลาในการประจุเต็มที่เวลา 5τ ซึ่งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลา (T) นั่นคือ

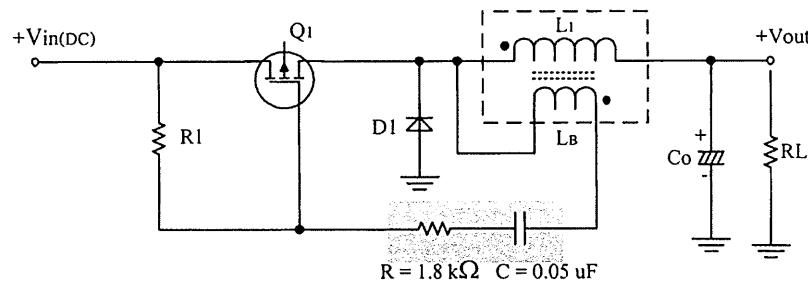
$$5\tau = \frac{T}{2} \\ 5\tau = \frac{100 \mu\text{s}}{2} = 50 \mu\text{s}$$

ค่าคงตัวของเวลา $\tau = R C$ ดังนี้

$$\tau = \frac{50 \mu\text{s}}{5} \\ \therefore \tau = 10 \mu\text{s}$$

เมื่อกำหนดค่าความต้านทาน $R = 1.8 \text{ k}\Omega$ คาปัชิเตอร์ C จะหาได้จากสมการที่ (55)

$$\tau = R \times C \\ C = \frac{\tau}{R} = \frac{10 \mu\text{s}}{1.8 \text{ k}\Omega} \\ \therefore C = 0.05 \mu\text{F}$$



ภาพที่ 3.8 วงจรกำเนิดความถี่อิสระด้วย R, C ในบัก คอนเวอร์เตอร์ขดลวดเดียว

ส่วนการคำนวณความถี่ในการสวิตช์ของวงจรบัก คอนเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด จะได้ความถี่ในการสวิตช์ (f_s) เท่ากับ 5 kHz เมื่อคำนวณคาบเวลา (T) จะได้

$$T = \frac{1}{f_s} \\ = \frac{1}{5 \text{ kHz}} \\ \therefore T = 200 \mu\text{s}$$

และใน 1 คาบเวลา (T) การเก็บประจุและคายประจุของคาปัชิเตอร์ C จะใช้เวลาที่เท่ากัน เมื่อคาปัชิเตอร์ใช้เวลาในการประจุเต็มที่เวลา 5τ ซึ่งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลา (T) นั่นคือ

$$5\tau = \frac{T}{2}$$

$$5\tau = \frac{200 \mu s}{2} = 100 \mu s$$

ค่าคงตัวของเวลา $\tau = R C$ ดังนั้น

$$\tau = \frac{100 \mu s}{5}$$

$$\therefore \tau = 20 \mu s$$

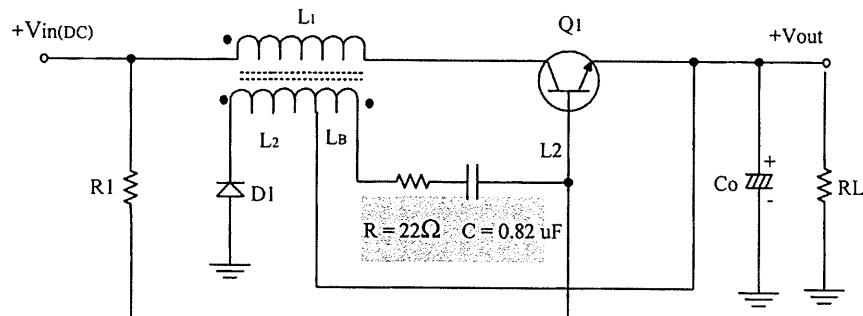
เมื่อกำหนดค่าความต้านทาน $R = 22 \Omega$ ค่าปานิชเตอร์ C จะหาได้จากสมการ

$$\tau = R \times C$$

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{20 \mu s}{22 \Omega}$$

$$\therefore C = 0.9 \mu F$$

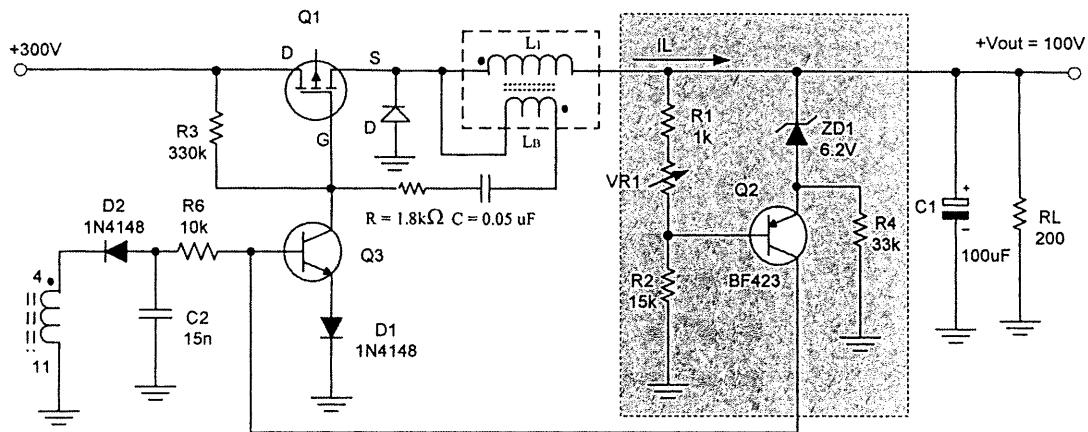
ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าปานิชเตอร์ ค่า $0.82 \mu F / 50 V$



ภาพที่ 3.9 วงจรกำเนิดความถี่อิสระด้วย R, C ในบีค ค่อนเวอร์เตอร์แบบ 2 ชดลวด

3. วงจรเออร์เร่อร์แอมป์

3.1 วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ในบัค คุณเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว

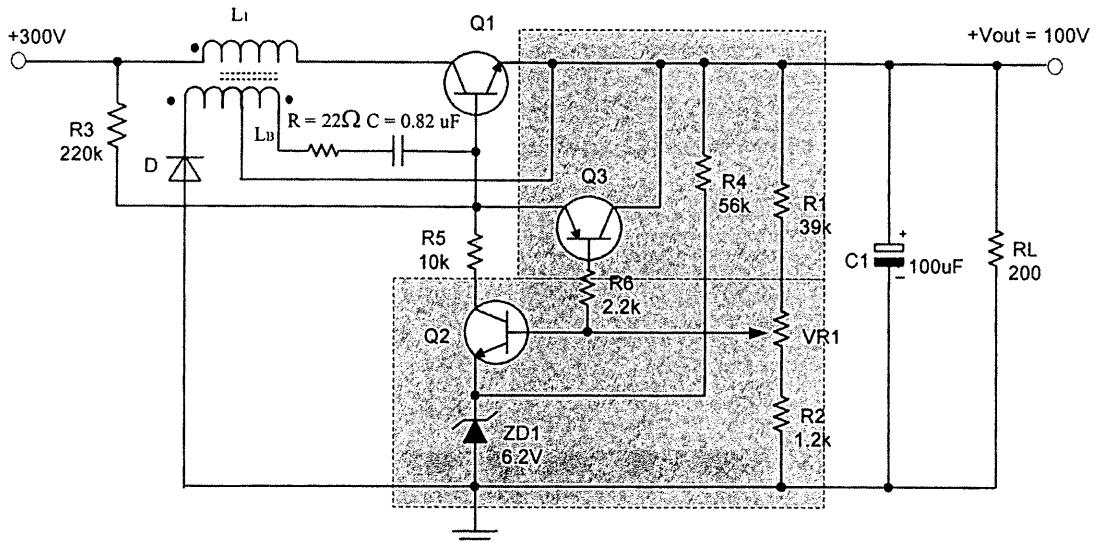


ภาพที่ 3.10 วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ในบัค คุณเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว

ที่ใช้ควบคุมแรงดันเอาต์พุต V_{out} ให้คงที่ 100 V

วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ (Error Amp) จะทำหน้าที่ในการควบคุมแรงดันไฟออกทางด้านเอาต์พุต เท่ากับ 100 V ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาไม่ว่าแรงดันไฟทางด้านอินพุตขาเข้าหรือความต้านทานโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปกี่ตาม ดังภาพที่ 3.10 แสดงวงจรบัค คุณเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียวที่ใช้เพาเวอรมอสเฟต Q₁ เบอร์ BUK444 เป็นสวิตช์ในการตัดต่อแรงดันไฟตรงดีซี โดยอาศัยแรงดัน V_G มาใบอัลฟองขาเกตเพื่อให้เพาเวอรมอสเฟต Q₁ นำกระแส ซึ่งต่างจากทรานซิสเตอร์ที่ใช้กระแส I_B ในการทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส ในส่วนของวงจรเออร์เร่อร์แอมป์ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q₂ ซีเนอเริດโอด ZD₁ ความต้านทาน R₁, R₂, VR₁ และ R₄ จะทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันทางเอาต์พุตทางขา B โดยเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงทางขา E ที่เปลี่ยนไปตามแรงดันเอาต์พุตที่มากขึ้นหรือน้อยลง และส่งต่อให้กับทรานซิสเตอร์ Q₃ ซึ่งเป็นวงจรขับไดร์ฟที่ไดร์บแรงดันไฟดีซีพลัสลบที่ไม่เรียบนักจากขดลวดขาที่ 4, 11 และไดโอดเรกติไฟเออร์ D₂ โดยพิลเตอร์ด้วยคากาซิเตอร์ C₂ ที่มีค่าเพียง 15 nF ตั้งนี้ การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q₃ จึงมีลักษณะเป็นการควบคุมสัญญาณพัลส์ในรูปของแรงดันไฟมากกว่าเป็นการควบคุมด้วยกระแส ซึ่งหมายความว่าแรงดันทางเอาต์พุต $+V_{out}$ ของเพาเวอرمอสเฟต Q₁ ให้มีค่ามากขึ้น หรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันทางเอาต์พุต $+V_{out}$

3.2 วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ในบักค์ คุณเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวดเดียว



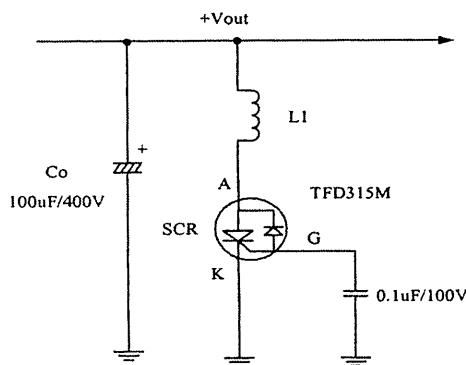
ภาพที่ 3.11 วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ในบักค์ คุณเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด

ที่ใช้ควบคุมแรงดันเอาต์พุต V_{out} ให้คงที่ 100 V

วงจรเออร์เร่อร์แอมป์ (Error Amp) ดังภาพที่ 3.11 แสดงวงจรบักค์ คุณเวอร์เตอร์แบบ 2 ขดลวด ที่ใช้เพาเวอร์ทรานซิสสเตอร์ Q₁ เบอร์ 2SC5287 เป็นสวิตช์ในการตัดต่อแรงดันไฟตรงดีซี โดยอาศัยกระแสจากวงจรไดร์ฟที่ส่งมาจากทรานซิสสเตอร์ Q₂ มาใบอัลตร้าเจเนส เพื่อให้เพาเวอร์ ทรานซิสสเตอร์ Q₁ นำกระแสมากน้อยตามแรงดันที่เปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุต ซึ่งต่างจากเพาเวอร์ มอสเฟตที่ใช้แรงดัน V_G ในการทำให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแส ในส่วนของวงจรเออร์เร่อร์แอมป์จะประกอบด้วยทรานซิสสเตอร์ Q₂ ซีเนอร์ไดโอด ZD₁ ความต้านทาน R₁, R₂, VR₁ และ R₄ ที่ทำหน้าที่หลักในการตรวจสอบแรงดันทางเอาต์พุตทางขา B ที่ต่อกับร้อมความต้านทาน R₂ ที่เปลี่ยนไปตามแรงดันเอาต์พุตที่มากขึ้นหรือน้อยลงโดยเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงคงที่ทางขา E ดังนั้น การทำงานของทรานซิสสเตอร์ Q₂ จึงมีลักษณะเป็นการควบคุมด้วยกระแส ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำงานด้วยเพาเวอร์ทรานซิสสเตอร์ ด้วยการตึงกระแสไฟดีซีที่จะไปใบอัลตร้าเจเนส (I_B) ของเพาเวอร์ ทรานซิสสเตอร์ Q₁ ให้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางเอาต์พุต สำหรับ ทรานซิสสเตอร์ Q₃ จะทำหน้าที่เป็นวงจรช่วยขับนำกระแสแล้วร่วมกับทรานซิสสเตอร์ Q₂ ให้ทรานซิสเตอร์ Q₁ มีความไวในการขับกระแส (I_B) ส่งผลให้แรงดันที่เปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุตมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

4. วงจรป้องกันแรงดันไฟເອົາຕຸພູດສູງເກີນ

วงຈາສວິຕື່ງເພາວີຣ໌ຂໍພພລາຍໂດຍທົ່ວໄປ ຈະມົງຈະປັບປຸງກັນຕ່າງໆ ມາກມາຍ ເຊັ່ນ ວັຈຮປັບປຸງກັນ ແຮງດັນໄຟອົກສູງເກີນ ວັຈຮປັບປຸງກັນກາລັດວົງຈາ ວັຈຮປັບປຸງກັນອຸນຫຼວມສູງເກີນ ເປັນດັນ ອຍ່າງໄຮຖືກາມ ເມື່ອງຈາສວິຕື່ງເພາວີຣ໌ຂໍພພລາຍມີຄວາມຝຶດປົກຕິເກີດຂຶ້ນວັຈຮປັບປຸງກັນດັ່ງກ່າວຈະຕ້ອງທຳງານທີ່ທັນນີ້ ເພື່ອປັບປຸງກັນຄວາມເສີຍຫາຍທີ່ອາຈຈະຕາມມານັ້ນເອງ ສໍາຫັບວັຈຮປັບປຸງກັນ ດອຍໃຊ້ວັງຈາ ຄອນເວົວເຕັກ ຕົກລວດເຕີບຕົກລວດແບບ 2 ຂົດລວດໃນກາລັດວົງຈາ ຈະອອກແບບວັຈຮປັບປຸງກັນແຮງດັນໄຟທາງດ້ານເອົາຕຸພູດອົກສູງເກີນຝຶດປົກຕິເທົ່ານັ້ນ ໂດຍໃຊ້ວັງຈາ SCR ໂຄຣວັບຮຳສໍາເຮົ້າຈູ້ປົ່ງອູ້ໃນຮູ່ປະບຸບຂອງ IC ເບືອ່ TFD315M ຜົນມີ Gate Trigger Current (I_{GT}) = 10 mA ໂດຍມີຄາປາຈີເຕັກ C ເຊຣາມືກ ຂາດ 0.1 $\mu F/160 V$ ຕ່ອຮ່ວມອູ້ດ້ວຍເພື່ອລົດສັນຍາຮຽນຮຽນອັນໄມ້ພຶ່ງປະສົງຄົກທີ່ເກີດຂຶ້ນ ແສດງດັ່ງກາພທີ່ 3.12



ກາພທີ່ 3.12 ວັຈຮປັບປຸງກັນແຮງດັນໄຟເອົາຕຸພູດສູງເກີນດ້ວຍ IC ເບືອ່ TFD315M